

OKAYAMA University
Earth Science Reports,
Vol.26, No.1, 37-49, (2019)

高知・岡山間の降水量差形成に関わる 暖候期の日々の降水や大気場の総観気候学的解析 (瀬戸内式気候に関連して)

Synoptic climatological analyses of daily precipitation features and atmospheric fields in warm season relating to the precipitation difference between Kochi and Okayama characterizing the Seto Inland Sea Climate in Japan

加藤 内蔵進 (Kuranoshin KATO)*
杉村 裕貴 (Yuki SUGIMURA)**
松本 健吾 (Kengo MATSUMOTO)***

Abstract

In order to re-examine the formation process of the climatological precipitation difference between Kochi (Pacific side of Shikoku District) and Okayama (Seto Inland Sea side) characterizing the Seto Inland Sea Climate in warm season, synoptic climatological analyses of the daily precipitation features and atmospheric fields were performed for the warm season (April to September) of 1985 - 2015, based on the daily and hourly precipitation data and weather maps by the Japan Meteorological Agency (JMA), and the NCEP/NCAR re-analysis data. The large climatological difference of precipitation at Kochi from that at Okayama throughout the warm season was greatly contributed to by the days with the precipitation difference between Kochi and Okayama (ΔPR) with greater equal to 30 mm/day. In addition, such large daily ΔPR was mainly due to the intense rainfall at Kochi with greater equal to 10mm/h throughout the warm season, except for a part of the cases in April when the “not so intense rain” with less than 10mm/h at Kochi contributed to the large ΔPR . However, it is noted that the features of the synoptic-scale atmospheric fields and possible roles of the mountain ranges in Shikoku District causing the large ΔPR were rather different among August (midsummer), September (Autumn rainfall season) and April (Spring).

Keywords: Daily precipitation climatology, Climate around Japan, Seto Inland Sea Climate in Japan, Synoptic climatology

I. はじめに

瀬戸内地域では、冬季には山陰に比べて、夏季には四国太平洋側に比べて降水量が少ない(佐橋 1991)。これは、卓越風と地形との位置関係にも対応して、瀬戸内式気候としても知られている(福井 1933)。しかし、このような降水の季節的コントラストは、単純に季節的な平均風と山との関係というよりも、四国の太平洋側と瀬戸内との比較的顕著な降水量差をもたらす日々のイベントが何回か起きることを強く反映している場合も少なくない。例えば加藤(2007)は、1971～2001年のデータに基づき、8月から9月にかけての

高知と岡山との気候学的な降水量差は、日降水量差 50mm 以上の日の寄与を大きく反映していることを示した(高知と岡山の位置は、第 16 図を参照)。

また、日々の現象の中での地形の絡み方に関しても、一般的に、多様な過程がありうる。例えば、地形による強制上昇が生じた場合で、大気が安定か不安定かによって、地雨的な降水をもたらすか、空気塊を自由対流高度へ持ち上げるきっかけを与えて対流性降水が生じるかが異なってくる。一方、対流圏中上層の雲の種まき効果がどの程度働くか、あるいは、安定成層中で風が山を乗り越える際の、山腹での強制上昇により

* 岡山大学大学院教育学研究科(理科), 〒700-8530 岡山県岡山市北区津島中三丁目1-1 (責任著者)
Graduate School of Education, Okayama University, Okayama, 700-8530 Japan (Corresponding author)

** 岡山大学大学院教育学研究科(理科), 2018年3月に修了
Graduate School of Education, Okayama University, Okayama

*** 岡山大学大学院自然科学研究科, (地球システム科学), 〒700-8530 岡山市北区津島中三丁目1-1
Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama University, Okayama, 700-8530, Japan

励起される山岳波の影響がどのくらいあるか、等によっても、降水量や降水特性の分布への影響が違いうる (Houze 1993 ; 武田 2005)。

武市 (1998) は、地形と総観場との関わり方にも関連して、四国の日降水量分布の総観場や関連する卓越風向の違いに注目して、解析を行った。但し、種々の時間スケールで見た降水量や降水特性の地域性に対して、地形だけでなく、より広域的な因子の影響も小さくない。例えば、各時間スケールの極値などで見た豪雨・強雨の地域性に関して、地形だけでなく基本場の水蒸気量や供給量の広域分布との関連にも同時に注目する必要性なども示唆されている (武田・二宮 1977 ; 二宮 1977a, b ; 二宮 2001)。

また、日本列島での梅雨期の総降水量の西日本と東日本との差は、単に日本列島規模での地域的因子だけでなく、梅雨期の広域場の空間構造の違いも大きく反映している (Ninomiya 1989; Ninomiya and Muraki 1986; Ninomiya and Mizuno 1987)。また、日本付近を接点とする、アジアモンスーンの各サブシステム間の季節進行のタイミングのずれ等も反映して、日本付近では、高低気圧や前線等の日々のシステムの基本場となる広域場の季節的変化も大きい (Murakami and Matsumoto 1994; 加藤・加藤, 2014, 2019; 加藤他 2009, 等)。瀬戸内式気候に関連した暖候期の降水量の地域差を生じる要因の理解の際には、このような視点を交えた検討も必要となる。

更に、太平洋側と瀬戸内側との暖候期の日々の降水のコントラストは、総観場の中での地形の効果は勿論、総観規模のシステムに伴う降水の微細構造の一環としての地域性として生じる場合もあり得る。しかも、その基本場としての広域場の季節的違いも前述のように大きいので、総観規模システム自体の構造の位置づけの中での地形の関わり方に関する、季節的多様性も大きい可能性がある。

加藤 (2007) は、瀬戸内式気候に関連してそのような観点から、太平洋側の高知から瀬戸内側の岡山を引いた日降水量差 (以下、 ΔPR と呼ぶ) について解析を行った。その結果、前述のように 8 月から 9 月にかけての気候学的に大きな降水量差は、 $\Delta PR \geq 50 \text{ mm/day}$ の日の寄与を大きく反映する一方、4 月から 5 月にかけては、 $0 \sim 50 \text{ mm/day}$ の日の寄与も大きい事を示した。しかし、加藤 (2007) は、それらに関わる日々の現象の特徴や季節性に関する吟味が不十分であった。

そこで本研究では、1985~2015 年の 4 月~9 月について、気候学的な高知と岡山との降水量差の形成に関わる ΔPR の大きい日の寄与や、その時の大気場の特徴、季節的違い等に関する解析を行った。本研究では、加藤 (2007) よりもかなり詳しく総観場の特徴も吟味するとともに、8 月と 9 月の違い等にも注目した。

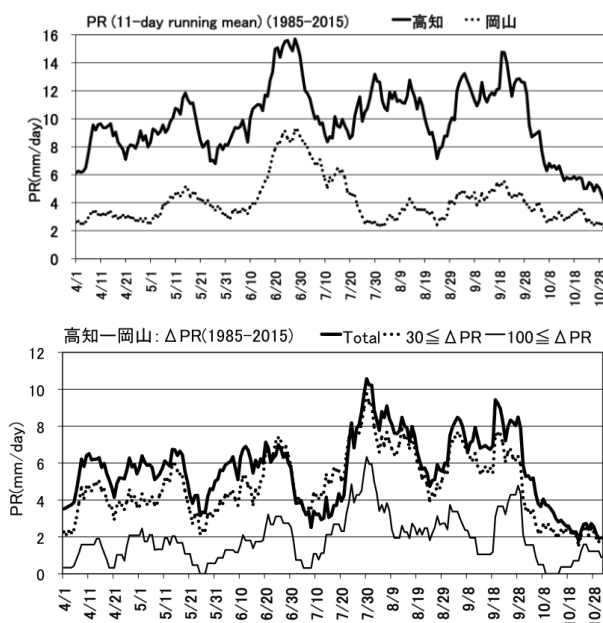
II. データ

本研究の解析に用いたデータは次の通りである。

- ・各気象官署の日降水量と時間降水量データ (気象庁本庁の HP よりダウンロードして筆者らが編集)
- ・NCEP/NAE 再解析データ ($2.5^\circ \times 2.5^\circ$ の格子点間隔) (Kalnay et al. 1996)
- ・気象庁作成の地上のミニチュア天気図 (各日 09JST (00UTC)), 等

なお、地上のミニチュア天気図に関しては、1985~1995 年:『天気図集成』(日本気象協会) 1996~2001 年:『気象』(日本気象協会) 2002~2015 年:『気象年鑑』(気象業務支援センター) に収録されたものを使用した。

III. 高知と岡山との気候学的な降水量差の季節性に関わる ΔPR の大きな日の寄与

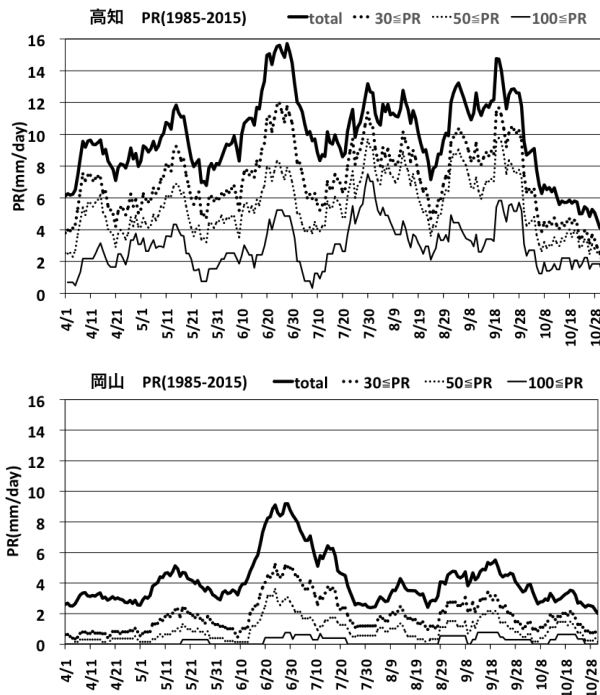


第 1 図 高知と岡山における気候学的な降水量 (上段)、及び、高知から岡山を引いた降水量差と階級別 ΔPR の寄与 (下段) の季節変化 (1985~2015 年平均)。上段では、高知を太実線、岡山を点線で示す。下段では、太実線は総降水量差、点線は $\Delta PR \geq 30 \text{ mm/day}$ 、細実線は $\Delta PR \geq 100 \text{ mm/day}$ の降水量差のある日の寄与を示す。単位は、 mm/day で示したが、 10 mm/day が約 300 mm/月 に対応する。

高知から岡山を引いた日降水量差 PR の気候学的な値の季節変化を、4 月~11 月について第 1 図に示す (詳細な議論は、4~9 月について行うが)。挿画の際には、1985~2015 年全体について同じ日付で平均し、更に 11 日移動平均して平滑化した。また、 ΔPR に関しても、第 1 図下段に同様な図を示す。更に下段には、

$\Delta PR \geq 30\text{mm/日}$ 、及び、 $\Delta PR \geq 100\text{mm/日}$ のような、高知が岡山よりもかなり降水量の大きい日による、総降水量差の気候学的な値への寄与の季節変化も併せて示した。単位は mm/日 で示したので、これを 30 倍すると、ほぼ 1 ヶ月あたりの値に換算出来る (10mm/日 がほぼ 300mm/月 対応)。

降水量の 31 年平均値は、ほぼ 4 月～9 月を通じて、高知が岡山よりも大きかった。つまり、 ΔPR の気候学的な平均値も、この期間を通して大きな正值を示した。8、9 月には、日々の $\Delta PR \geq 50\text{mm/日}$ や $\Delta PR \geq 100\text{mm/日}$ の大きな寄与を反映して、降水量差の 31 年平均値は特に大きかった。ところで加藤 (2007) は、1971～2001 年のデータに基づき、4 月、5 月における高知と岡山との大きな総降水量の差は、 $\Delta PR < 50\text{mm/日}$ の日が比較的頻繁に起きることの反映だと述べた。しかし、第 1 図で示されるよう、4 月、5 月でも、 ΔPR が 30mm 以上の日による高知・岡山間の気候学的な総降水量差への寄与は、8 割程度を占めていた (4、5 月における $\Delta PR \geq 100\text{mm/日}$ の寄与は、8、9 月に比べてかなり小さいが)。



第 2 図 高知 (上段) と岡山 (下段) における気候学的な総降水量 PR と、それに対する階級別 PR の寄与の季節変化 (1985～2015 年平均)。太実線は総降水量、太い点線は $PR \geq 30\text{mm/日}$ 、細い点線は $PR \geq 50\text{mm/日}$ 、細実線は $PR \geq 100\text{mm/日}$ の日の寄与を示す。単位は、 mm/日 で示したが、 10mm/日 が約 300mm/月 に対応する。

第 2 図に、高知と岡山それぞれの地点における総降水量と、日降水量 PR の多い日 (ここでは、 $PR \geq 30\text{mm/日}$ 、 $PR \geq 50\text{mm/日}$ 、及び、 $PR \geq 100\text{mm/日}$) の寄与の

気候学的な値の季節変化を示す。気候学的な季節進行に関しては、第 1 図と同様な解析に基づき挿画した。

高知と岡山の、暖候期を通して平均的に大きな降水量差は、高知側での日降水量 30mm 以上の日の寄与が大きいことを反映していた。また、8、9 月における特に大きな降水量差や $\Delta PR \geq 100\text{mm/日}$ の大きな寄与も、高知側で日降水量 100mm 以上の日の寄与が大きいことを強く反映していた。

次に、日々の ΔPR が比較的大きな正值となる日がどのような特徴を示すのかを記述するために、以下の章では、31 年間の毎日のデータに基づき $\Delta PR \geq 30\text{mm/日}$ の事例を抽出し、高知や岡山での降水の特徴について 1 時間降水量を用いて記述するとともに、大気場場との関連に関しても若干の考察を加える。

IV. $\Delta PR \geq 30\text{mm/day}$ の日における時間降水量の寄与 (8 月、9 月、4 月間の比較)

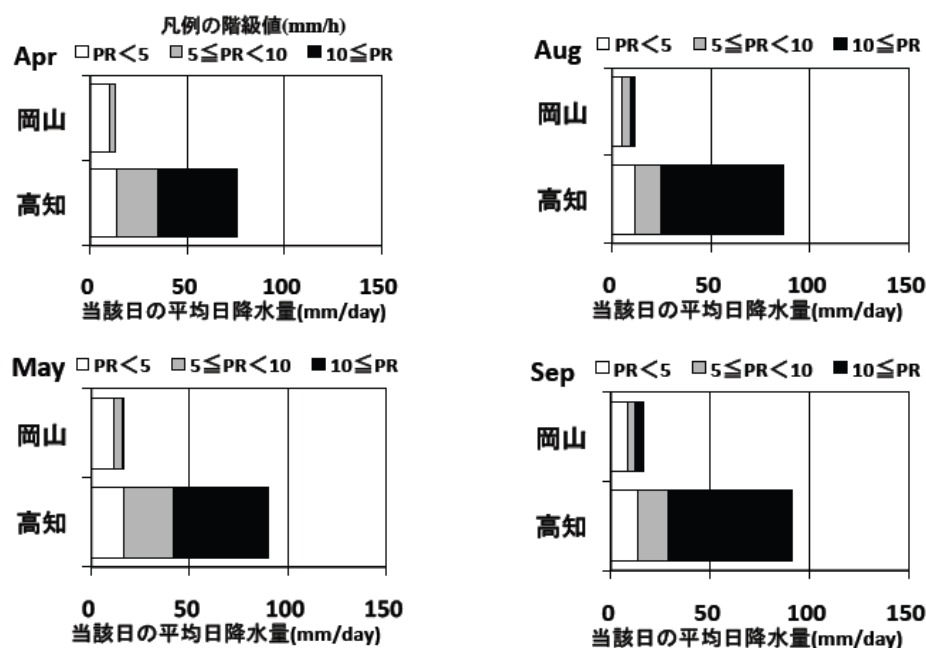
4.1 全体の概要

抽出された $\Delta PR \geq 30\text{mm/日}$ の全事例数は、延べ日数で 4 月が 53 日、5 月が 55 日、8 月が 79 日、9 月が 81 日であった。 $\Delta PR \geq 30\text{mm/日}$ の全事例で平均した、高知と岡山における日降水量 (mm/日) と、それに対する階級別の 1 時間降水量の寄与を、4、5、8、9 月について、それぞれ第 3 図に示す。なお、気象庁によれば (気象庁本庁の HP)、1 時間雨量 10mm 以上 20mm 未満を「やや強い雨」、 20mm 以上 30mm 未満を「強い雨」(土砂降り)、 30mm 以上 40mm 未満を「激しい雨」、等と呼んでいるが、時間降水量が 10mm を超えれば、感覚的にそれなりに強い雨と考えて良い。そこで本研究では、便宜的に、 10mm/h 以上を「強雨」、 10mm/h 未満を「それほど強くない雨」と呼ぶことにする。そして、それらの時間帯における降水が、各地点での日降水量のうちどの程度稼いでいるか (それぞれの強度の降水の「寄与」)、に注目して解析を行った。

8 月や 9 月の事例では、高知で日降水量が多いだけでなく、岡山では逆に大変少ないというコントラストが顕著であった。しかも、このようなコントラストを伴う高知での多量の日降水量に対して、 10mm/h を超える「強雨」が大きく寄与していた。つまり、 ΔPR が大きな日は、平均的には、強雨による寄与で、高知側のみでの日降水量が大きくなることを反映していたことになる。

4、5 月における $\Delta PR \geq 30\text{mm/日}$ の事例数は、8、9 月に比べると少ないが、それでも、8、9 月の 7 割程度の事例数があつた。また、 $\Delta PR \geq 30\text{mm/日}$ の日において、基本的には 8、9 月と同様に、高知側で 10mm/h を超える強雨の時間帯の寄与を強く反映して、高知での日降水量が岡山よりもかなり多くなっていた。但し、4 月には、 $\Delta PR \geq 30\text{mm/日}$ の事例全体で平均した高知の日降水量のうち、「それほど強くない雨」の寄与が

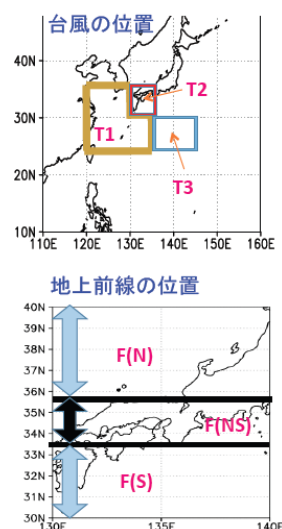
約半分近くあった点も注目される。

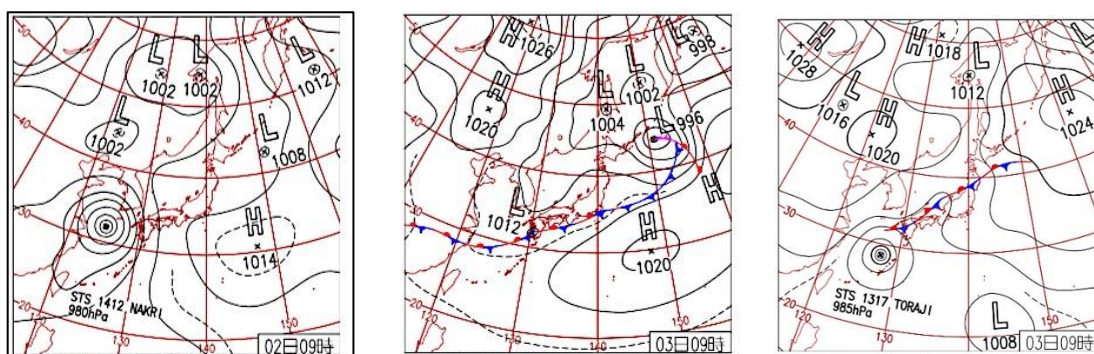


第3図 $\Delta PR \geq 30$ mm/日の全事例で平均した、高知と岡山における日降水量 (mm/日) とそれに対する階級別1時間降水量の寄与。4, 5, 8, 9月について、それぞれ、左上, 左下, 右上, 右下に示す (1985~2015年)。階級値 (mm/h) の凡例は各図の上段を参照。

第1表 8, 9月における $\Delta PR \geq 30$ mm/日の事例のパターン毎の出現日数 (1985~2015年の09JSTの地上天気図に基づく)。各月の合計日数と上位3パターンの出現日数 (日) を大きな数字で、また、例えば8月に見られた上位3パターンの、9月における出現日数も小さな数字で示した。パターン名の記号のハイフン (-) は、2つの記号に対応する要素が重なったパターンであることを表す。また、表の右側に、各パターンの台風の位置や前線の位置の範囲の図も併せて示す。なお、前線が中四国北方に存在する場合も、その緯度が $130^{\circ}E \sim 140^{\circ}E$ の範囲内のどこでも $40^{\circ}N$ 以北の場合には、F(N)には含めず、T1など、他のカテゴリーに分類されている。

パターン	天気図のパターンの特徴	出現日数	
		8月	9月
T1	台風が南西諸島～東シナ海付近に存在	20	4
T2	台風中心が中四国付近に存在	15	7
F(N)	前線が中四国よりも北方に位置 ($40^{\circ}N$ まで)	14	2
F(NS)	前線が中四国に位置	5	17
T1-F(N)	台風が南西諸島～東シナ海付近に存在し、かつ、前線が中四国よりも北方に位置	3	13
T1-F(NS)	台風が南西諸島～東シナ海付近に存在し、かつ、前線が中四国に位置	3	11
合計	(上記以外を含む)	79	81

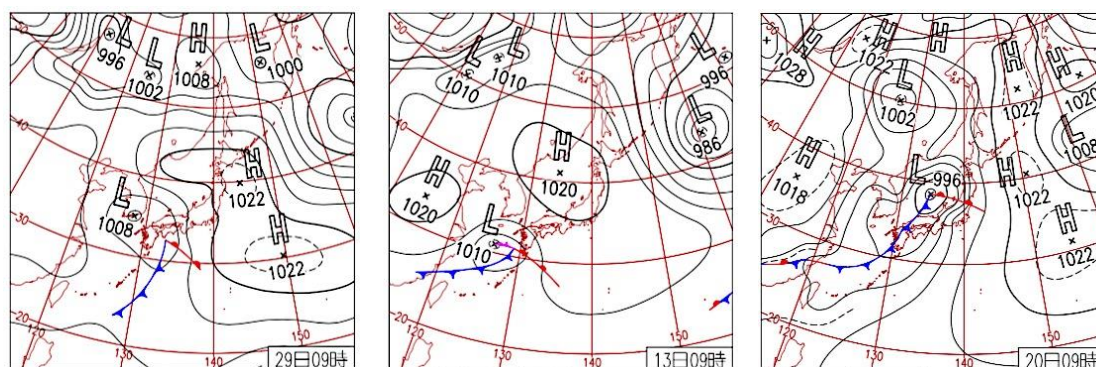




第4図 8, 9月におけるパターンT1 (2014年8月2日, 左図), パターンF(NS) (2015年9月3日, 中央の図), パターンT1-F(NS) (2013年9月3日, 右図)における地上天気図例 (気象庁作成)。

第2表 第1表と同様。但し, 4月における上位3パターンの出現日数(日)。なお, 4月に見られた上位3パターンの, 5月における出現日数も併せて示した。

パターン	天気図のパターンの特徴	出現日数	
		4月	5月
1a	低気圧中心が中四国付近に存在	11	3
1	低気圧が南西諸島～東シナ海付近に存在	10	8
2	中四国が低気圧の暖域に位置する	7	3
合計		53	55



第5図 4月におけるパターン1a (2014年4月29日, 左図), パターン1 (2014年4月13日, 中央の図), パターン2 (2015年4月20日, 右図)における地上天気図例 (気象庁作成)。

4.2 $\Delta PR \geq 30\text{mm/日}$ の事例における地上天気図のパターン

次に, $\Delta PR \geq 30\text{mm/日}$ となる全事例の09JST(00UTC)における地上のミニチュア天気図を参照した。その結果, 幾つかの気圧配置のパターンに分類することが出来た。パターンの分類に関して, 確かに, 最終的には客観的(機械的)な基準に基づく議論が必要であろう。

しかし, 現段階では, 各季節のどのような状況の際に ΔPR が正の大きな値になるのか, 個々の事例の天気図を人の目で確認しながら傾向を掴むことが必要と考える。そこで本研究では, 主観的な判断も交えながら, 月ごとに, 卓越する複数のパターンに分類した。

8月と9月における事例の上位3パターンとそれぞれの出現日数を第1表に示す(表の右側に, 各パター

ンの台風の位置や前線の位置の範囲の図も併せて示す)。また、幾つかのパターンの地上天気図例を第4図に示す。また、4月についても同様に第2表、及び、第5図に示す。

8月には、台風中心が中四国付近に存在する場合(パターンT2)が15事例あったが、全79事例のうち約半数近くは(パターンT1とF(N)で計34事例)、地上付近で四国の山を越えるような南寄りの風が卓越していると考えられるような気圧配置であった。つまり、基本的に太平洋高気圧の圏内(東方に高気圧中心。前線は存在しても、山陰以北)で、しかも台風あるいは低圧域が同時に中四国よりも西方に存在し、中四国では東向きの地上気圧傾度を示していた。

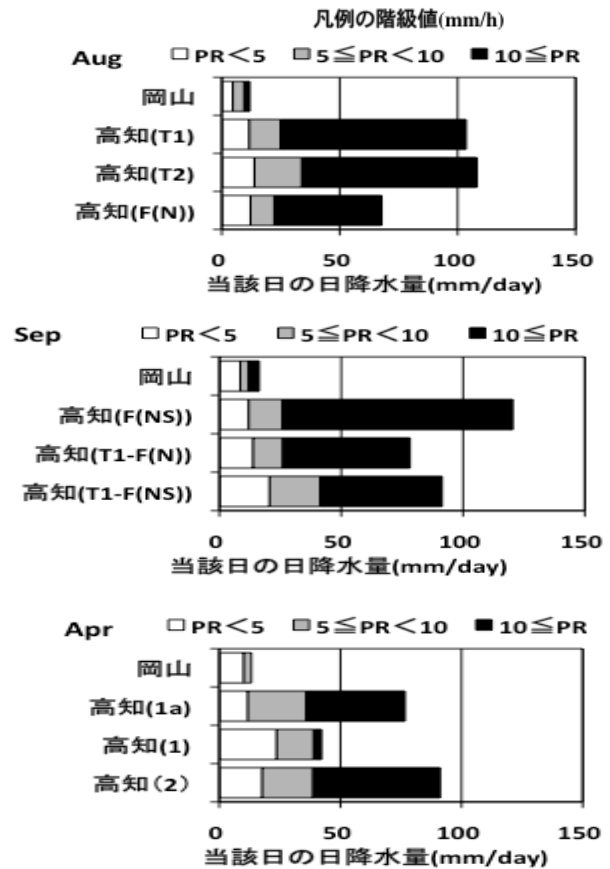
一方、9月には、「台風のみが中四国の西方に位置する」(パターンT1, 4事例)、あるいは「前線が中四国よりも北方に位置するのみ」(パターンF(N), 2事例)というパターンよりも、台風が西方にあり、かつ、秋雨前線も中四国の北方に位置するパターン(パターンT1-F(N), 13事例)の方が、出現頻度が高かった。但し、8月と違って、地上前線が、中四国の北方というよりも中四国付近に存在する事例が多くなった。しかも、同時に台風が西方に存在するパターンT1-F(NS)だけでなく(11事例)、前線のみ中四国付近にかかっているパターンF(NS)(17事例)も多かった。

また、4月における上位3パターンは、8、9月と違って、いずれも、温帯低気圧の接近・通過に関連したものであった点が注目される(パターン毎に低気圧中心や前線と中四国との位置関係は異なるが)。

4.3 パターン毎の高知での降水の平均的特徴(8月、9月、4月間の比較)

第6図に、8月、9月、4月について、それぞれ $\Delta PR \geq 30\text{mm/日}$ となる上位3パターンにおける高知の日降水量(mm/日)とそれに対する強雨等の寄与を示す。比較のため、岡山での全事例で平均した同様な図も示す。

8、9月における上位3パターンでは、何れのパターンにおいても、高知での時間10mmを超える強雨の卓越の寄与に伴って、高知の日降水量が大変多くなることを反映したものであった。また、8月や9月における各事例での10mm/h以上の時間帯は、1事例あたり平均数時間出現し、その時間帯の平均降水量は20mm/h程度であった。つまり、当該日には、高知側で、かなり強い雨が延べ数時間程度降ることにより、岡山との大きな降水量差を生み出したことになる(なお、9月に台風が西方に位置して前線が中四国付近に存在する事例で、10mm/h未満の「それほど強くない雨」の寄与率は、他の事例よりも相対的に高かったが、それでも、10mm/h以上の「強雨」が日降水量の半分を少し超えていた)。



第6図 1985～2015年の8月(上段)、9月(中段)、4月(下段)における $\Delta PR \geq 30\text{mm/日}$ の事例について、それぞれの月の上位3パターンでの高知の日降水量(mm/日)とそれに対する階級別1時間降水量(mm/h)の寄与(mm/日)。比較のため、岡山における全事例での平均値も示す。階級値の凡例は各図の上段を参照。

また、4月でも、8、9月と同様に、10mm/hを超える強雨の寄与が半分かそれをやや上回ることに伴って、高知での日降水量が岡山よりもかなり多くなるパターンが頻出した(パターン1aや2)。

しかし、パターン1のように、南西諸島～九州西方の低気圧中心から南東に伸びる温暖前線の北東方に中四国が位置する状況において、主に10mm/h未満の「それほど強くない雨」の寄与で高知側での降水量が増大する事例も少なくなかった点が注目される(このパターンにおける高知での日降水量の平均は、4月の他の主要パターンよりは少なく、42mm/日程度ではあったが)。

V. $\Delta PR \geq 30\text{mm/day}$ の日における高知での降水特性に関連した大気場の特徴や季節性の考察

次に、各パターンに関する合成解析を行い、季節的背景の違いも意識しながら考察を行う。なお、使用し

た大気場のデータの解像度が $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 緯度経度格子なので、高知と岡山との降水差をもたらすメソスケールでの大気構造の解析は出来ない。しかし、本研究では、より広域的な総観場の背景を把握するために、解析を行った。また、ゆっくりと変化する場に関してはノイズ除去のため日平均値で合成する方が望ましいが、進行する台風や春・秋の移動性の擾乱が絡む事例の場合、日平均値で合成すると現象の特徴を大きく歪める恐れもあるので、合成には、09JST (00UTC) におけるデータを利用した。

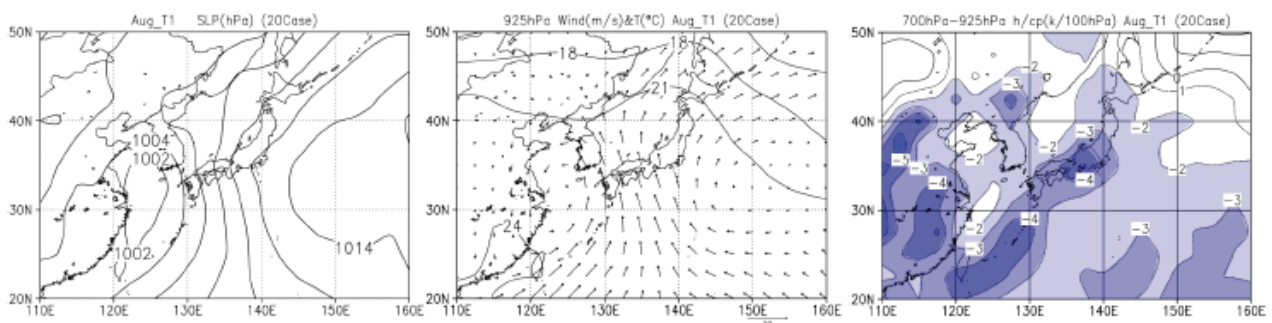
5.1 8月(盛夏期)

8月に最も事例数の多かったパターン T1 における総観場の特徴について(8月の全79事例中、20事例。第1表)、海面気圧、925hPa等圧面(地上1km足らずの高度)における気温と風ベクトル、及び、湿潤対流に対する安定度を合成したものを、第7図に示す。安定度に関しては、湿潤静的エネルギーを空気の定圧比熱で割った量(h/C_p で、相当温位 θ_e に対応)の700hPaから925hPaにおける値を引いた差を示した(負値が不安定)。

このパターンでは、太平洋高気圧に対応する高気圧の軸が関東東方から西方に伸びている($\sim 35^{\circ}\text{N}$) (海

面気圧と925hPaの風ベクトルを参照)。一方、西方の東シナ海域には台風に対応する低圧域があり、中四国付近は、その間に挟まれて、東向きの気圧傾度が大きい領域が南北に長く伸びていた。そのため中四国付近は、南北に伸びる下層の南風がかなり強い領域内に位置していた。また、水蒸気量に関する図は略すが925hPaの気温分布から示唆されるように、中四国付近では、下層の高温多湿な気団の状態を反映して、湿潤対流に対する不安定度も大変悪かった(右図)。

しかし、925hPaでの気温や風で示唆されるように、中四国付近では太平洋高気圧の圏内とも言え、不安定度は強くても、その中で実際に積乱雲を生じるきっかけとなる大規模場の上昇流を積極的に形成する要因は見当たらない。それでも実際には、4.3で示されたように、高知では(岡山と違って)、かなり強い雨の寄与で日降水量が平均100mm程度に達していた。従って、下層の強い南寄りの風が(多量の水蒸気も含んで不安定度が強い)四国の山地を超えることにより生じる強制的な上昇流が、空気塊を自由対流高度に持ち上げて積乱雲発生のトリガーを生じさせなければ、四国の太平洋側でのこのような降水を説明することは困難であると考えられる。



第7図 8月のパターンT1で合成した、海面気圧(hPa)(左)、925hPa面における気温($^{\circ}\text{C}$)・風ベクトル(m/s)(中央)、湿潤静的エネルギー(h/C_p)の700hPaにおける値から925hPaにおける値を引いた湿潤対流に対する安定度(K/100hPa)(右)の分布。等温線は 3°C 毎に示す。安定度に関しては、負値が不安定を示す。この単位で-2を下回る領域に影をつけた。その領域では、925hPaでの θ_e が700hPaよりも4.5Kほど高いことになり、かなり不安定度が強いことを意味する。

台風の本体に近いパターンT2では、台風本体に関連した過程での降水の要因がある中で、更に台風の東側の中四国では上述のような降水のコントラストが称した可能性もあり得るが、これについては、今後に残された問題の一つと考える。

また、パターンF(N)においては、東シナ海側が相対的に低圧部であったので(図略)、基本的にはパターンT1と同様な背景が考えられる。しかし、西側が低圧域であるという意味だけでなく、それが台風として存在することの意味がどの程度あるのか(パターンT1とF(N)との違い)、また、中四国の北方とは言え、前線の暖域としての積極的な意味がどの程度あるの

か等についても、今後の検討課題である。

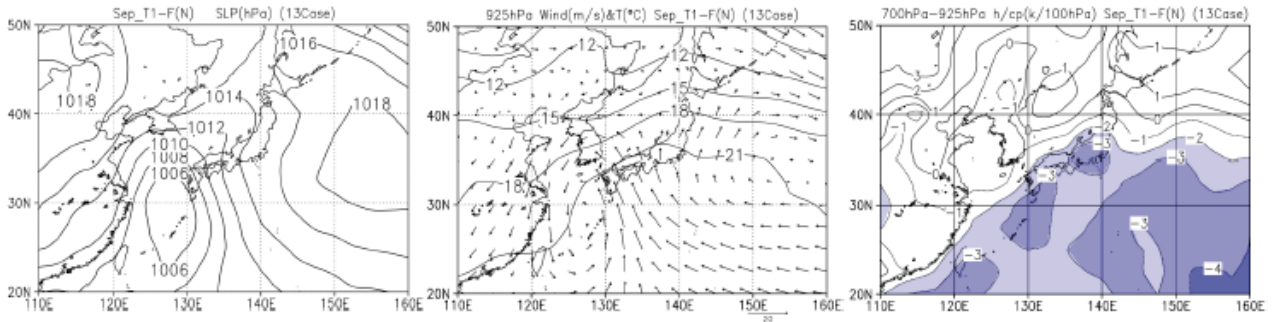
5.2 9月(秋雨期)

9月には、4.2、4.3で述べたように、中四国付近に地上前線が存在するパターンF(NS)の出現頻度が相対的に高くなった。しかし、同時に、第1表に付した図のT1と示す領域に台風も存在する事例は少なくなった(パターンT1-F(N)やT1-F(NS))。但し、台風が中四国の西方あるいは南西方に存在する場合にも、前線が「中四国よりは北方だが 40°N 以南に少なくとも一部はかかっている」事例(T1-F(N))が、8月よりも増加した。第7図と同様な大気場の合成図を、パタ

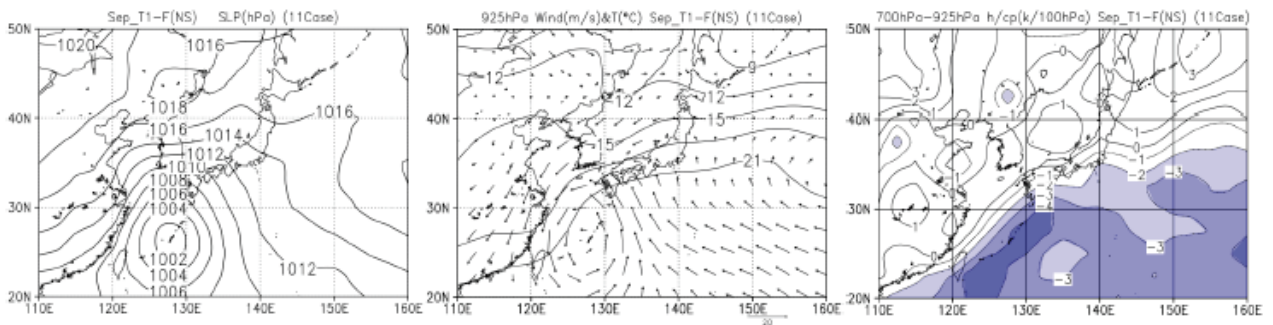
ーン T1-F(N)について第 8 図に、パターン T1-F(NS)について第 9 図に示す。

T1-F(N)においては、今述べたように、秋雨前線に対応する下層の等温線が混み合って東西に伸びるゾ

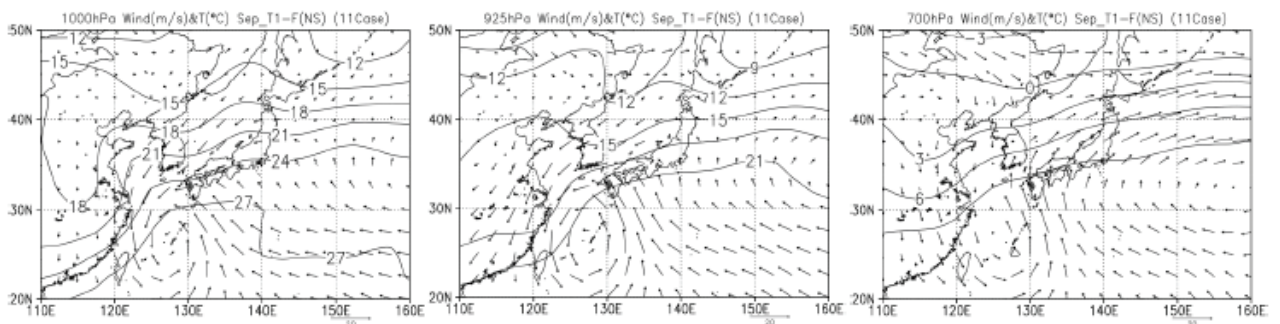
ーン（傾圧帯）が日本海付近まで南下していたが（第 8 図の中央）、その南方に位置する中四国付近は、8 月の T1 の事例と同様なプロセスで、高知と岡山の降水量差が生じた可能性が示唆される（5.1 を参照）。



第 8 図 第 7 図と同様。但し、9 月におけるパターン T1-F(N)での合成。



第 9 図 第 7 図と同様。但し、9 月におけるパターン T1-F(NS)での合成。



第 10 図 9 月のパターン T1-F(NS)で合成した、気温 (°C) と風ベクトル (m/s) の分布。左から順に、それぞれ、1000hPa、925hPa、700hPa 面におけるものを示す。

しかし、中四国付近に地上前線が存在したパターン T1-F(NS)では、台風とその東方の太平洋高気圧に対応する高压域との間の強い東向きの気圧傾度に関連して、本州南岸への下層の南風成分は強かった（真南というよりも南東ないし南南東）。一方、本州・四国南岸付近まで南下した下層の傾圧ゾーンの南縁付近を境に、それより北方の山陰以北では東北東ないし北東風であった（第 9 図の中央）。つまり、中四国付近は、下層で合流場に伴って東西に伸びるフロントゲネシ

スの中心軸と見なせるようであった。従って、そのことに伴う準地衡風の二次循環としての下層の上昇流が、中四国の南半分を中心に生じうる可能性も示唆される。

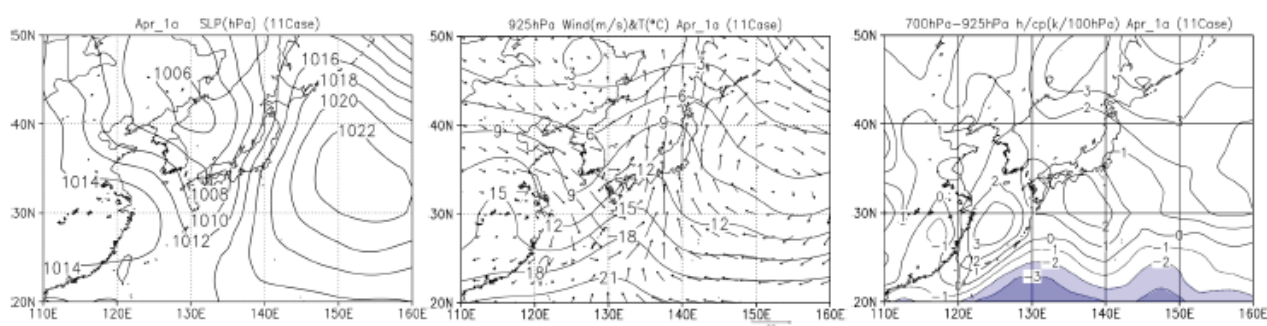
なお、第 10 図に示されるように、今述べたような気温と風の分布から期待されるフロントゲネシスの中心軸は、高度とともに北に傾いていた。つまり、地上付近に対応する 1000hPa 面では四国付近（左図）、地上約 3km に対応する 700hPa 面では日本海中部から

北部にかけて ($\sim 41^{\circ}\text{N}$) と考えられる (右図)。従って、上空ほど北に傾く前線面に沿って南寄りの風がゆっくり上昇するような循環が大規模場としては生じていた可能性を否定出来ない (実証したわけではない)。

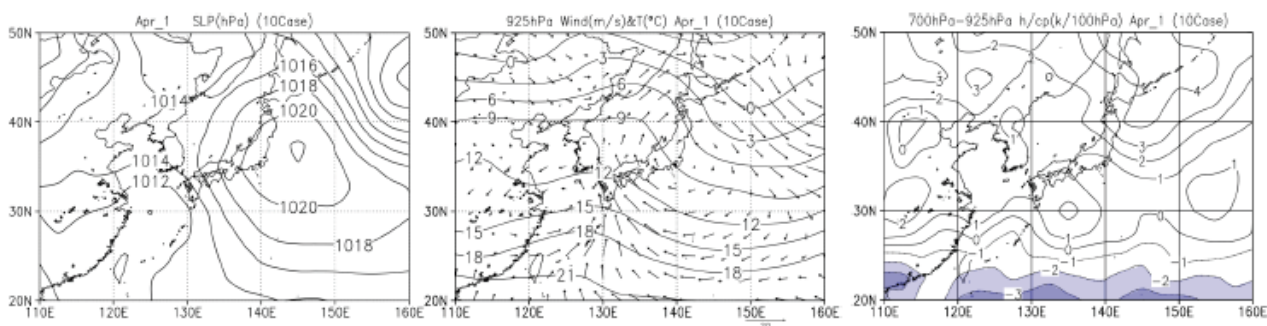
しかも、第9図 (右) で示されるように、925hPa面でのフロントゲネシスの軸と考えられる中四国付近を境に、安定度も南北で大きく変化していた (南側ほど不安定度が強く、日本海方面はどちらかと言えば安定)。従って、中四国付近では、「地上に近い高度での前線に伴う上昇流が空気塊を自由対流高度に持ち上げて、積乱雲を発生させるトリガーを与える」ことに

対して、南部ほど (つまり高知側の方が)、好都合な環境にあった可能性が示唆される。このような仮説が妥当かどうかを検証するために、今後、より細かい解像度での吟味が必要である。

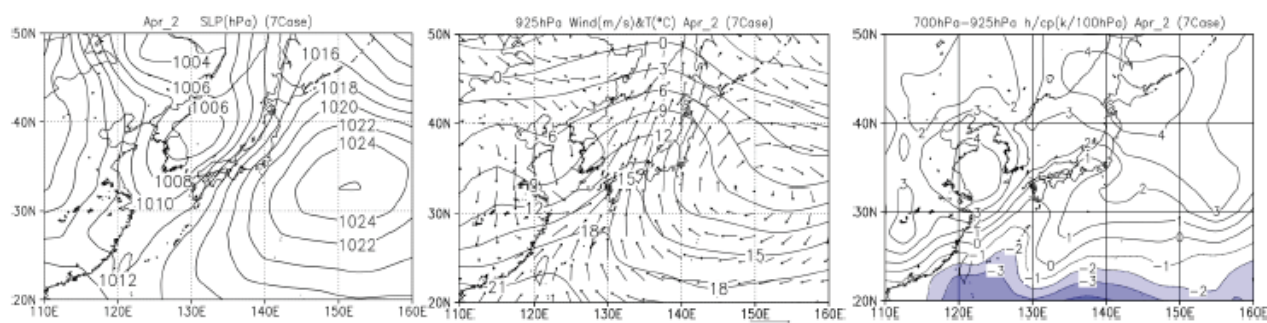
ともかく、この事例で見られた大気場の特徴は、四国の山地を挟んだ南北の日降水量のコントラストについて、「四国の山を越えるプロセスに関連して生じる高知と岡山との降水量差」という観点だけでなく、季節によっては、「上述のような、前線自体の降水の南北構造として生じる高知と岡山との顕著な降水量差」という観点での吟味も併せて考える必要性を問題提起していることになる。



第11図 第7図と同様。但し、4月におけるパターン1aでの合成。



第12図 第7図と同様。但し、4月におけるパターン1での合成。



第13図 第7図と同様。但し、4月におけるパターン2での合成。

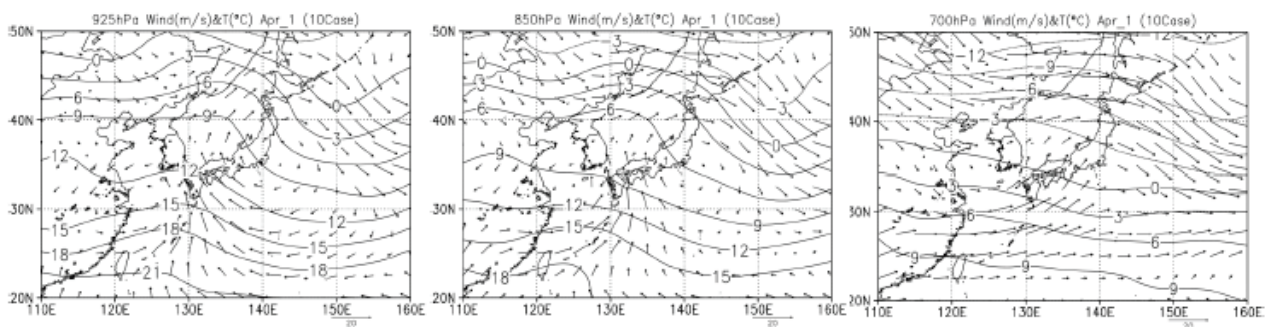
5.3 4月

第7図と同様な総観場の合成図を、4月の上位3パターンであるパターン1a, 1, 2について、それぞれ第11図, 第12図, 第13図に示す。4.2で述べたように、8月, 9月と違い、これら3つのパターンは全て、温帯低気圧の通過とも関連している。また、何れの事例とも基本的には、925hPaにおける等温線が本州南岸を挟み、20°N付近から50°N付近までである程度混み合っている。加藤他(2016)は、4月の低気圧通過に関連した九州南部での大雨日の出現において、4月頃の平均場の傾圧性の強い領域が本州からかなり南方まで伸びていることの重要性も指摘したが、これらのパターンも日本列島以南まで広がる傾圧帯の中で生じている点が特徴である。

また、パターン1aと2は(1aは中四国付近を低気圧が通過中のパターンであるが、大きく見るとパターン1aも含めて)、東方の地上高気圧と西方の低気圧との間で東西の気圧傾度が大きい(第11図, 第13図)。これに地衡風的に対応して、中四国付近で下層の南風成分が中四国の南方から北方へ傾圧帯を吹き抜けていた。従って、準地衡風理論によれば、この暖気移流

に伴って、南北に広い範囲で大規模場の上昇流を形成し得ることになる(もし渦度移流の上下の差に伴う鉛直流形成と打ち消し合わなければ)。つまり、南寄りの風が四国の山を乗り越えることによる効果があり強くなくても、中四国付近に大規模場の上昇流を生じ得る気圧配置である。

また、これらのパターンの合成場において、成層は一応安定であるが、下層の南風に関連して、安定度の値が相対的に小さい領域が南から侵入している。従って、中四国を中心に見ると、南側の方が北側よりも局所的には不安定が生成される確率は高かったのかも知れない。もし、そうだとしたら、これらのパターンにおいても、暖気移流に伴う準地衡風のな上昇流が生じ得る領域の南北幅は広いものの、それが湿潤対流を引き起こすきっかけになる可能性が高いのは、より南側ということになる。従って、これらのパターンにおいて、第一義的には傾圧帯や安定度の南北分布に関連した構造の一環として高知と岡山間の降水量差が生じると考えるべきか、南北に幅広い強い下層南風が四国の山を超えることが重要なのかを、吟味する必要がある。



第14図 4月のパターン1で合成した、気温(°C)と風ベクトル(m/s)の分布。左から順に、それぞれ、925hPa, 850hPa, 700hPa面におけるものを示す。第10図と示している等圧面が一部違うので注意のこと。

一方、パターン1においても(第12図)、東シナ海付近に中心を持つ低気圧とその北東方に中心を持つ高気圧との間に位置する中四国付近では、925hPa面で比較的強い南東風が見られる。しかし、その風系は、山陰付近より南方のみで明瞭に見られるようである。しかも、中四国からその南方にかけての安定度は、パターン2に比べると相対的に良い。

925Pa, 850hPa, 700hPaにおける気温と風ベクトルの合成を重ねた第14図によれば、中四国付近での上述の南東風は850hPa面(地上約1.5km)までの比較的地上近くの層に限定されている。また、700hPa面(地上約3km)では南西風となっており(気象庁のミニチュア天気図に引いてある地上の温暖前線に直交する方向)、暖気移流もより明瞭である。本研究で用いた格子点データの水平・鉛直双方の解像度の制約の

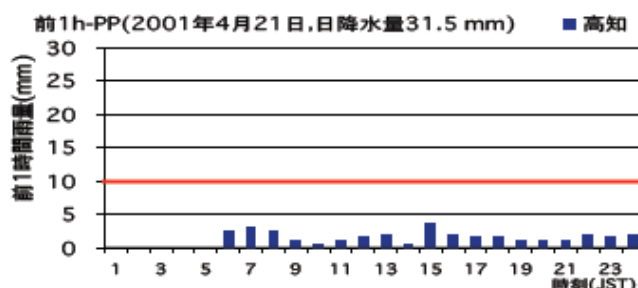
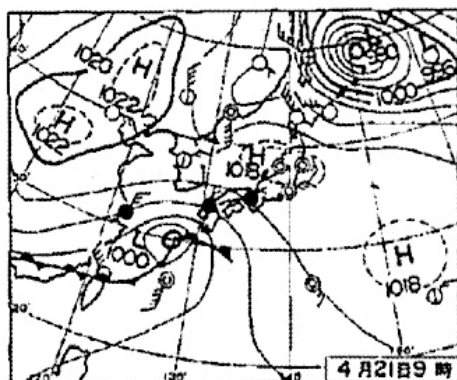
ため、前線面の3次元構造等に関する解析は出来ないが、大枠で言えば、比較的安定な成層を持つ前線面の下方で(例えば925hPa~850hPa面)、四国の山地を超える南東風が吹いていた可能性は否定出来ない。

第15図に、パターン1の例として、2001年4月21日09JST(00UTC)における気象庁作成の地上天気図ミニチュア版(気象協会発行『気象』に収録)と、高知における前1時間降水量(当該時刻までの1時間の積算値)の時系列を示す。

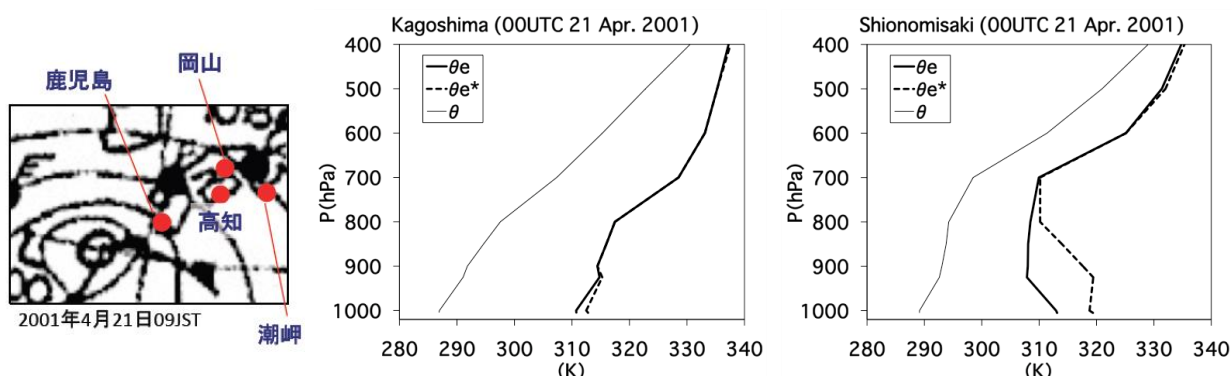
中四国付近は、地上の温暖前線の北東側に位置し、この日の日降水量は、四国の太平洋側に位置する高知31.5mm、清水(足摺岬)33.0mmであった。しかし、四国でも、瀬戸内側では松山(愛媛県)18.0mm、新浜(愛媛県)13.0mm、高松(香川県)5.0mmと、太平洋側よりもかなり少なかった。また、中国地方の瀬戸内

側では、広島(広島県) 1.0mm, 福山(広島県) 3.0mm, 岡山(岡山県) 1.5mm と、更に少なかった。しかも、

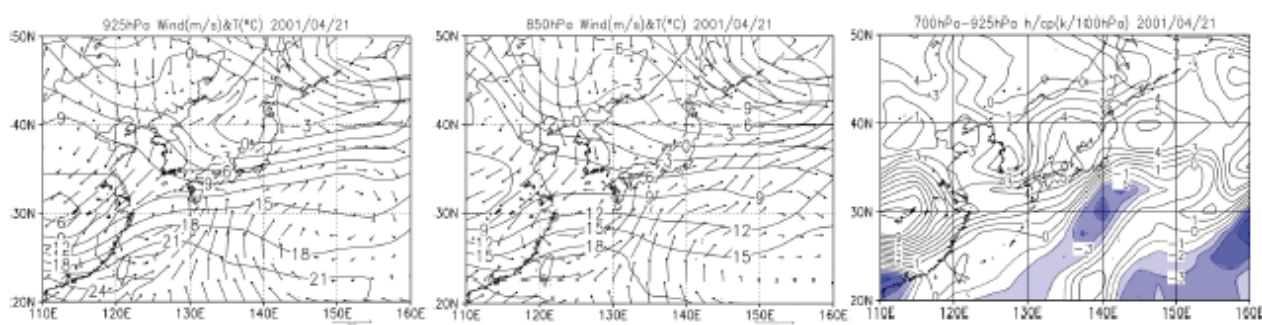
高知での日降水量 31.5mm も、数 mm/h 程度の「それほど強くない雨」が持続することによるものであった。



第 15 図 4 月のパターン 1 の例としての、2001 年 4 月 21 日 09JST (00UTC) における気象庁作成の地上天気図ミニチュア天気図 (気象協会発行『気象』に収録) と (左), 高知における前 1 時間降水量の時系列 (mm/h, 右)。



第 16 図 2001 年 4 月 21 日 09JST (00UTC) における鹿児島(中央)と潮岬(右)における成層。両地点の位置は、同時刻における気象庁による地上天気図(第 15 図)を一部切り出した図上に示した(左図)。



第 17 図 2001 年 4 月 21 日 09JST (00UTC) における気温 (°C) と風ベクトル (m/s) を重ねた図を、925hPa 面 (左) と 850hPa 面 (中央) について示す。また、 h/c_p の 700hPa における値から 925hPa における値を引いた湿潤対流に対する安定度 ($K/100hPa$) の分布を右図に示す。

また、鹿児島と潮岬における高層気象観測データに基づく当該時刻における成層(第 16 図)で示されるように(高知付近での観測がないので、最寄りの 2 地点を示した)、地上前線に近い鹿児島では 800~

700hPa 付近、少し遠い潮岬では 700~600hPa 付近に、安定度が大変良い層が存在する(温位 (θ), 相当温位 (θ_e), 飽和相当温位 (θ_{e^*})) が、それぞれ、上方ほど大きく増大)。なお、第 17 図 (右) でも、中四国付近

の上空は、925～700hPa層の安定度の相対的に良い領域が広がっていることが分かる（この安定層が当該の前線に対応する前線面と考えて良いかどうかは慎重に検討する必要があるが）。

但し、興味深いことに、（パターン1の合成図でも見られたように）、その安定層から下方にかけての850～925hPa面付近で、東南東風が四国の山地に向かっている。この風が山脈を越えることにより、高知側と岡山側との降水量差がどの程度になり得るかに関しては、本研究では議論出来ない。しかし、もし、地形による強制上昇流で降水量差が生じるとしたら、高知側での降水は、積乱雲のような対流性のもではなく、安定成層下での層状性の雲による「地雨」としての特徴を持つ可能性が高いであろう。このように、まだ本州遥か南方まで平均的な傾圧性が強い季節である4月頃には、安定成層での低気圧・前線に関連して、山に向かう南東ないし東南東の下層風に伴う山の風上側の層状性降水（「それほど強くない雨」）の寄与で、高知と岡山との降水量差が形成される可能性がある事例も少なくない点に、注目する必要がある。

VI. まとめ

加藤（2007）は、瀬戸内式気候に関連した高知と岡山との気候学的な降水量差の形成に関わる日々の降水の寄与について解析し、特に8、9月の気候学的な大きな降水量差は、高知側で多量の降水となることにより日降水量差 ΔPR が大きい日の寄与を強く反映していると指摘した。しかし、 ΔPR の大きい日における高知側での降水特性や、季節サイクルの中での大気場の役割などについての吟味は、十分ではなかった。

そこで本研究では、1985～2015年の4月～9月について、 $\Delta PR \geq 30\text{mm/日}$ の日の出現頻度や総降水量差への寄与を調べるとともに、それらの事例における降水特性や大気場の特徴に関して合成解析を行った。主な結果は、次の通りである。

(1) 高知と岡山との総降水量差は4～9月を通して大きかったが、とりわけ8、9月には、 $\Delta PR \geq 30\text{mm/日}$ の大きな日の寄与を反映して、気候学的な総降水量差も大きかった。

(2) 8月の $\Delta PR \geq 30\text{mm/日}$ の事例では、高知での10mm/h以上の強雨の時間帯の寄与を大きく反映していた。これらの事例では、高温多湿で不安定度の強い空気が、比較的強い南寄りの風に伴って中四国の上空を南方から北方へ向けて通過していた。しかし、パターンT2以外では、太平洋高気圧の縁辺部に中四国が位置するものの、前線・低気圧などによる大規模場の上昇流が中四国を中心に生じる大気場ではなかった。従って、もし、南方から流入した不安定な空気が地形による強制上昇で自由対流高度に達することがなか

ったとすると、高知側での激しい降水の発生を説明しにくいことが分かった。

(3) 秋雨期に対応する9月頃でも、大きな ΔPR は、高知側で10mm/h以上の強雨時間帯の寄与を強く反映していた。その中で、西方に台風が存在し、かつ、前線が中四国よりも北方に位置する事例では、8月と同様なプロセスにより高知側で大きな降水量になったものと考えられる。しかし、台風は西方に存在するが前線も中四国付近に見られる事例では（パターンT1-F(NS)）、単に、風が四国の山地を超える際の強制上昇流をトリガーとする降水量差という可能性だけでなく、安定度や水蒸気量、傾圧性等の分布の独特な組み合わせとして生じる秋雨前線での降水の南北構造の位置づけを反映した可能性も示唆され、今後、更なる吟味が必要である。

(4) 4月でも、高知側で10mm/hを超える強雨の時間帯が、高知・岡山間の比較的大きな気候学的降水量差に対して、その半分程度も寄与していた。但しその場合でも、平均的に中四国を挟んで南北に幅広い傾圧帯中で、低気圧東方の下層南風に伴う暖気移流が広範囲で見られた。従って、四国の山地の影響と傾圧帯中の低気圧の構造の反映とが、それぞれどの程度重要なのか、今後、明らかにする必要がある。

しかし、4月には、九州西方の低気圧から南東に地上前線が伸び、「安定な前線面よりも下方の低気圧循環の一環としての南東風」が四国の山を超える状況で、5mm/h以下の「それほど強くない雨」の高知側での持続により ΔPR が大きくなったパターンが、4月全体の事例の1/5程度を占めた。

以上のように、本研究の結果は、秋雨期や、4月頃（日本列島の南岸付近を挟んで季節的に傾圧性が強く、成層も比較的安定）には、それぞれ、盛夏期とは異なるシステムの卓越によるイベントの出現や、四国の山地の役割が見られる可能性も示唆している。言い換えれば、四国の山の影響や基本場の中での日々の総観規模システムの関わり方が季節進行の中でかなり大きく変化する中でも、(科学的な言い方ではないが、関わる「役者」は季節的に「細切れに入れ替わりながらも」)、暖候期を通して継続的に、高知と岡山との間での大きな降水量差をもたらす日が出現しやすいという環境に中四国がおかれている点は、大変興味深い。

但し、本研究における大気場の解析は、まだ、それらのプロセスを議論する「出発点」に通じる幾つかの「興味深い断片」を提示するに留まっている。従って、それぞれのパターンにおいて高知側で降水量が多くなるプロセスの違いや、それらの季節的背景について、力学・熱力学過程にも踏み込んで詳細な吟味を行うことは、今後に残された興味深い問題であると考えられる。

謝辞

本研究は、第2著者の杉村裕貴の修士論文の一部をベースに(岡山大学大学院教育学研究科, 2018年3月修了), 責任著者の加藤内蔵進が中心に, 第3著者の松本健吾と共に, 更に解析・検討を重ねて纏めたものである。なお, 本研究の実施と取り纏め際の経費の一部は, 科研費(基盤研究(S))「過去120年間におけるアジアモンスーン変動の解明」(H26~30年度, 代表者: 松本淳, 課題番号: 26220202), 及び, 兵庫教育大学連合研究科共同研究プロジェクト経費(プロジェクト(X))「近年の自然災害を踏まえた防災, 減災教育と学校危機管理の構築」(R1~3年度, 代表者: 藤岡達也)からの補助を受けた。

引用文献

- 福井英一郎, 1933: 日本の気候区, 第2報。地理学評論, 9 (1), 1-9, (2), 109-127, (3), 195-219, (4), 271-300。
- Houze, R. A. Jr., 1993: "Cloud dynamics". Academic Press, 573pp.
- Kalnay, E., M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin, M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woollen, Y. Zhu, A. Leetmaa, R. Reynolds, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, W. Higgins, J. Janowiak, K. C. Mo, C. Ropelewski, J. Wang, R. Jenne, and D. Joseph, 1996: The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. Bull. Amer. Meteor. Soc., 77, 437-471.
- 加藤晴子・加藤内蔵進, 2014: 『気候と音楽—日本やドイツの春と歌—』協同出版, 全168頁。
- 加藤晴子・加藤内蔵進, 2019: 『気候と音楽—歌から広がる文化理解とESD—』協同出版, 全206頁。
- 加藤内蔵進, 2007: 岡山と高知の日降水量差の季節進行の気候学的特性—瀬戸内型気候と降水に関連して—。地域地理研究, 12, 1-16。
- 加藤内蔵進・加藤晴子・別役昭夫, 2009: 東アジア気候環境とその変調を捉える視点の育成へ向けた学際的授業開発の取り組み(多彩な季節感を接点に)。環境制御, 31, 9-20。
- 加藤内蔵進・森塚望・松本健吾・大谷和男, 2016: 季節進行の中でみた九州南部における4月頃の大雨日の降水の特徴と大気環境に関する総観気候学的解析。岡山大学地球科学研究報告, 22, 16-32。
- Murakami, T. and J. Matsumoto, 1994: Summer monsoon over the Asian continent and western North Pacific, J. Meteor. Soc. Japan, 72, 719-745.
- 二宮洸三, 1977a: 豪雨の時間スケールからみた降水強度極値の地理的分布。天気, 24, 63-71。
- 二宮洸三, 1977b: 大きなスケールでみた地形と豪雨。天気, 24, 27-37。
- Ninomiya, K., 1989: Cloud distribution over East Asia during Baiu period in 1979. J. Meteor. Soc. Japan, 67, 639-658.
- 二宮洸三, 2001: 『豪雨と降水システム』。東京堂出版, 全247頁。
- Ninomiya, K., and H. Mizuno, 1987: Variations of Baiu precipitation over Japan in 1951-1980 and large-scale characteristics of wet and dry Baiu. J. Meteor. Soc. Japan, 65, 115-127.
- Ninomiya, K. and H. Muraki, 1986: Large-scale circulations over East Asia during Baiu period of 1979. J. Meteor. Soc. Japan,

59, 409-429.

- 佐橋 謙, 1991: 『岡山のお天気』。山陽出版社, 全224頁。
- 武市伸幸, 1998: 四国の日降水量分布と気圧配置・最多風向の関係。瀬戸内地理, 7, 12-20。
- 武田喬男, 2005: 『雨の科学—雲をつかむ話』。気象ブックス015, 成山堂書店, 全185頁。
- 武田喬男・二宮洸三, 1977: 日本の豪雨・豪雪。科学(岩波書店), 47, 138-148。